

INNOVACIÓN EN EL TRANSPORTE POR FERROCARRIL: EL TREN DE ALTA VELOCIDAD

VICENTE INGLADA LÓPEZ DE SABANDO

Universidad Carlos III

PABLO COTO MILLÁN

Universidad de Cantabria

CON EL TRANCURSO DE LOS AÑOS HAN IDO SURGIENDO SUCESIVAS MEJORAS TECNOLÓGICAS E INNOVACIONES EN EL TRANSPORTE QUE HAN DESEMPEÑADO UN PAPEL CLAVE EN EL CRECIMIENTO ECONÓMICO Y HAN PERMITIDO SATISFACER LAS

83

crecientes demandas de movilidad de los ciudadanos. El factor esencial para el éxito de todas ellas ha sido la importante mejora en las velocidades que ha permitido acceder a lugares más distantes sin aumentar el tiempo de viaje. Todo ello se ha traducido en que el mapa del transporte de viajeros haya cambiado drásticamente con un predominio del automóvil en distancias cortas y medias y del avión en distancias largas.

En este sentido, parece que el ferrocarril, tras haber transcurrido un largo periodo

de tiempo desde que en el siglo XIX fuera un factor esencial para la revolución industrial, ha llegado a su fase de saturación, convirtiéndose en un modo de transporte marginal. En el transporte de viajeros, el tren de alta velocidad se ha convertido en la esperanza de que el ferrocarril pueda recuperar parte del mercado.

En este artículo se estudia el tren de alta velocidad como innovación o mejora tecnológica en el transporte. En el capítulo siguiente se define el concepto de innovación y se describe como han ido emer-

giendo las sucesivas innovaciones en el transporte. Posteriormente se analiza el proceso de desarrollo de un producto a través de las sucesivas fases de su ciclo de vida. En el cuarto capítulo se describen las características del tren de alta velocidad que le diferencian del ferrocarril convencional y le permiten competir con éxito, incluso con modos de transporte más rápidos. En los dos apartados siguientes se analizan, respectivamente, sus ventajas y debilidades, así como las perspectivas futuras. Finalmente, se extraen una serie de conclusiones.

INNOVACIONES EN EL TRANSPORTE

Un hecho clave aparece en el estudio de la movilidad: la constancia secular del tiempo medio diario que las personas destinan al transporte. En este sentido, Bleijenberg (2002), después de analizar numerosas encuestas de movilidad, correspondientes a diferentes países y periodos de tiempo, concluye que el tiempo medio diario destinado al transporte está situado en torno a una hora, con unos valores extremos de 0,8 y 1,2 horas. Partiendo de este hecho básico, el factor esencial para explicar la acelerada evolución de la movilidad y los cambios acaecidos en el reparto modal es el crecimiento exponencial de la velocidad que ha permitido acceder a lugares más lejanos sin aumentar nuestro tiempo de desplazamiento.

Con el transcurso de los años se han ido desarrollando paulatinamente nuevos modos de transporte cada vez más rápidos que permiten afrontar los innovadores avances en los procesos productivos y satisfacer las necesidades surgidas por el acceso a nuevos mercados. Así, en los albores del siglo xx surge el automóvil como medio de locomoción que llega a alcanzar rápidamente una velocidad superior al ferrocarril y se hace predominante en el transporte de viajeros a partir de la década de los sesenta. Su rápido crecimiento se apoya en una extensa red de carreteras y en la fabricación de vehículos cada vez más potentes y cómodos. Paralelamente a este crecimiento del transporte por carretera, la cuota modal del avión aumenta muy significativamente de acuerdo con sus elevadas velocidades que permiten afrontar con gran éxito la restricción presupuestaria temporal.

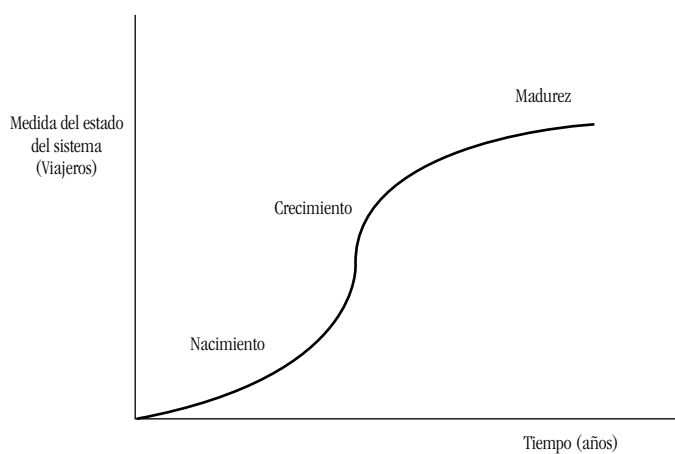
Estas pautas internacionales de crecimiento modal de la movilidad se cumplen también para el caso español. En el cuadro 1 se observa que durante el periodo 1960-2000, el modo de transporte con mayor crecimiento es el aéreo, con una tasa media de crecimiento del 9,60%, seguido de la carretera (7,37%) y finalmente del ferrocarril, con una tasa de crecimiento sensiblemente inferior (2,71%).

CUADRO 1
EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA MODAL DE TRANSPORTE
EN EL PERIODO 1960-2000
TASA MEDIA ANUAL ACUMULATIVA

Carretera	Ferrocarril	Avión
7,37	2,71	9,60

FUENTE: Elaboración propia.

GRÁFICO 1
CICLO DE VIDA DE UNA INNOVACIÓN



FUENTE: Elaboración propia.

Cabe señalar que no se ha producido ningún nuevo salto tecnológico en el transporte desde la introducción del avión aunque sí mejoras tecnológicas en los procesos de producción de vehículos, nuevos materiales y, últimamente, la incorporación generalizada en este sector de las tecnologías de información y comunicación. En este sentido, la introducción del tren de alta velocidad representa la respuesta de mejora tecnológica del ferrocarril ante su acelerada conversión en un modo de transporte marginal.

CICLO DE VIDA

La evolución de un sistema de transporte —como la de cualquier otro producto— puede analizarse partiendo de la base de que en el ciclo de vida de una tecnología se distinguen tres etapas: nacimiento, crecimiento y madurez o saturación. Después de una primera etapa de desarrollo pausado existe una fase de crecimiento

rápido para finalmente llegar a la saturación y correspondiente pérdida de posición en el mercado. Los ferrocarriles han sobrepasado ya esta última etapa estando en plena fase de madurez.

La curva logística se ajusta satisfactoriamente a este patrón de crecimiento. En el gráfico 1 se representa la evolución del ciclo de vida de una innovación. En el eje de ordenadas se representa la evolución temporal del estado del sistema que se refiere a atributos como los kilómetros de infraestructura, el número de pasajeros o los ingresos generados. La expresión matemática de esta función es:

$$Y_t = \frac{k}{1 + \alpha e^{-\beta t}}$$

El valor máximo (o de saturación) de y_t es k . La curva logística es simétrica alrededor de su punto de inflexión, alcanzando su tasa de crecimiento máxima cuando $y_t = k/2$.

Para que la tecnología tenga éxito es fundamental que se alcance en la fase inicial una masa crítica. En el caso del tren de alta velocidad los operadores nacionales están desempeñando un papel clave en el desarrollo de esta innovación permitiendo alcanzar la masa crítica requerida. (De Tiliere y Hulten, 2003)

EL TREN DE ALTA VELOCIDAD

El principal objetivo del desarrollo de las primeras redes de alta velocidad es la revitalización del sector ferroviario, cuya cuota de mercado se mostraba en pleno declive en la mayoría de los países. El apoyo de los gobiernos al tren de alta velocidad se basa, asimismo, en la creencia de que constituye un factor clave en el estímulo del crecimiento económico.

En este sentido, mientras que en el desarrollo del ferrocarril convencional la iniciativa privada ha desempeñado un papel fundamental, el ferrocarril de alta velocidad es básicamente un producto de la planificación pública. Así ocurre en Japón con la apertura en 1964 de la primera línea de alta velocidad entre la capital y Osaka en las vísperas de los juegos Olímpicos. También el TGV francés comienza a funcionar en 1981 gracias al apoyo de la agencia ferroviaria pública SNCF después de un periodo muy dilatado de planificación.

La extensión posterior de la alta velocidad se realiza, tanto en Japón como en Europa, aprovechando parte de la red ferroviaria convencional. De esta manera se supera el obstáculo que representa el elevado coste de las líneas puras de alta velocidad. Paralelamente se introducen sucesivos avances tecnológicos que permiten mejorar su rendimiento y los parámetros de calidad de la oferta a los usuarios.

TIPOLOGÍA

De acuerdo a su grado de innovación respecto a la tecnología convencional, cabe distinguir dos tipos de tren de alta veloci-



dad. En un primer grupo se incluye al Maglev que supone una ruptura tecnológica radical respecto al ferrocarril convencional. Los sistemas Maglev nunca han llegado a ser operativos comercialmente en gran escala a pesar de sus óptimos resultados en términos de velocidad. Las diferentes investigaciones realizadas revelan que las causas fundamentales de su pobre éxito comercial son: sus elevados costes, los estándares exigidos y la incompatibilidad con las infraestructuras existentes que no permiten aprovechar las economías de escala y obtener el suficiente tamaño de mercado que haga viable esta tecnología.

La otra alternativa de alta velocidad, que supone una mera mejora tecnológica sobre el ferrocarril convencional, ha tenido un gran desarrollo en Europa y en Japón aunque no ha sucedido así en Estados Unidos. Los operadores ferroviarios nacionales han sido los actores principales en el desarrollo de estas tecnologías. Se inicia en Japón con el Shinkansen que se desarrolla bajo la dirección y supervisión del operador JNR. Posteriormente, se introduce en muchos países europeos. En Francia es el fruto de la colaboración entre el operador SNCF y de ALSTOM y otras empresas de ingeniería francesas. En Alemania el operador DB involucró a

Siemens, Thyssen, y otras empresas de ingeniería en el desarrollo del ferrocarril de alta velocidad ICE.

El indudable éxito de todas estas tecnologías se debe fundamentalmente a que en los procesos de innovación se involucraron desde el principio el operador ferroviario nacional y la industria ferroviaria. El operador supervisa el desarrollo del ciclo del producto y presiona a las instituciones políticas para que se apoye la difusión de esta tecnología. Este modelo de innovación permite, asimismo, alcanzar la masa crítica necesaria para la adopción satisfactoria de la nueva tecnología en el mercado nacional (De Tilière y Hulten, 2003).

En esencia la alta velocidad ferroviaria (AVE) se caracteriza por una nueva infraestructura que permite, utilizando el material móvil y equipo (comunicación, señalización, etc) adecuado, la obtención de elevadas velocidades comerciales. Asimismo, su forma de gestión es normalmente diferente a la tradicional del tren convencional (Plassard, 1992). Coincidiendo con estos planteamientos, Bonnafous (1987) sostiene que el TGV francés tiene más parecido con un avión que con un tren convencional, si se consideran diversos factores como la longitud del recorrido, la capacidad y la velocidad. Asimismo, concluye que sus efectos vertebrales inciden esencialmente sobre los núcleos urbanos de mayor tamaño poblacional, de forma similar al transporte aéreo.

Cabe distinguir dentro de la denominada alta velocidad a tres subproductos claramente diferenciados que en el caso español denominamos: Lanzaderas, Largo Recorrido y Ancho variable.

En el cuadro 2 se expresan los rasgos más significativos de cada tipo de oferta, y que determinan la diferenciación del producto de Alta Velocidad. Los factores discriminantes primordiales entre Lanzaderas y Largo Recorrido son el tipo de demanda atendida y el precio, mientras que el segmento restante se distingue, esencialmente, por tener que emplear diferente material móvil, debido a la necesidad de utilizar infraestructura con anchos de vía diferentes.

CUADRO 2
CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES PRODUCTOS AVE

	Lanzaderas	Largo recorrido	Talgo
Trayectos	Madrid-C. Real C. Real-Puertollano Madrid-Puertollano -----	Madrid-Sevilla Madrid-Córdoba Resto -----	Madrid-Málaga Madrid-Cádiz Madrid-Huelva Otros
Material	Gec-Alsthom	Gec-Alsthom	Talgo 200
Infraestructura	Nuevas líneas de alta velocidad	Nuevas líneas de alta velocidad	Nueva línea y convencional
Precios (Ingreso medio viajero- Km en céntimos de euro en 1993)	6.30	9.24	6.12
Ocupación	0.65	0.84	0.68
Tipo de demanda	Cercanías con elevado porcentaje de viajes pendulares	Largo recorrido	Largo recorrido

FUENTE: Coto e Inglada (2003).

Este hecho, junto a la necesaria operación de cambio de ancho en el intercambiador, hace que su velocidad media, y por lo tanto, la reducción del coste generalizado sea menor que en los otros segmentos de oferta de alta velocidad.

Un análisis con más profundidad nos hace ver que el segmento de Lanzaderas, con tarifas bajas y donde predomina el uso de billetes con descuento, ha generado una demanda formada esencialmente por viajes de tipo recurrente, con la ida y la vuelta efectuadas el mismo día. Este hecho es consecuencia del descenso del coste generalizado del transporte —esencialmente de tiempo y precio—, que a su vez produce una reducción en el precio de un bien complementario como es la vivienda.

● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● LAS CLAVES DEL ÉXITO

Es evidente el éxito comercial del AVE en el corredor Madrid-Sevilla como lo demuestran sus altos factores de ocupación y la elevada tasa de crecimiento de la demanda. El nivel de satisfacción con el servicio que ofrece es prácticamente total, alcanzando al 96% de sus usuarios (Coto e Inglada, 2003).

En relación con las ventajas que el AVE ofrece, el análisis realizado en Coto e Inglada (2003) sobre las diferentes componentes de su coste generalizado nos muestra que el tren de alta velocidad ofrece importantes ventajas comparativas respecto a los demás modos de transporte. Así, en primer lugar, cabe destacar que en aquellos trayectos realizados en su totalidad en la nueva infraestructura, el tiempo del AVE es menos de la mitad del correspondiente a los demás modos de transporte, excepto el avión (Coto e Inglada, 2003).

Dependiendo del modo de transporte con el que comparamos, varía el apartado en el que el tren de alta velocidad ofrece ventajas. Por ejemplo, respecto al avión, el nuevo producto ofrece grandes ventajas en los conceptos de desplazamiento de acceso al servicio ya que sus estaciones están situadas en el centro de la ciudad, así como en el apartado de puntualidad. También respecto al tren convencional, su ventaja comparativa radica en la mayor puntualidad (Cuadro 3).

En síntesis, cabe señalar que los motivos principales para elegir el AVE son, por orden de importancia, la rapidez, comodidad, precio, novedad y seguridad. Un primer resultado, ciertamente relevante, es

que el peso de la componente que hemos denominado comodidad es prácticamente tan importante (29%) como el tiempo (30%), siendo superior incluso a la influencia de la componente precio (11%). Este resultado es especialmente significativo dentro del colectivo de viajeros procedentes del avión, donde el peso de la componente comodidad (31%) es muy superior al precio (19%), igualándose incluso a la suma de las componentes «tradicionales» del coste generalizado: precio y tiempo.

Por lo tanto, el éxito de este producto se basa no solamente en su elevada velocidad sino también en otros factores que le permiten competir con otros modos de transporte más rápidos como es el avión.

Debido a la elevada magnitud del efecto sustitución, como se muestra en Inglada (1994), la introducción del AVE produce efectos muy significativos sobre la demanda de los demás modos de transporte que compiten con él. Por ejemplo, en el corredor Madrid-Sevilla produce la práctica desaparición del tren convencional en el corredor. En el transporte aéreo, el AVE ha supuesto un importante descenso de la demanda en el trayecto Madrid-Sevilla, próximo al 50%. En el caso del coche las pérdidas son menores que en los casos

anteriores, aproximándose al 30%. Finalmente, para el caso del autobús, no parece existir un fuerte impacto en los trayectos de largo recorrido (11% de pérdidas), ya que ambos productos son escasamente sustitutivos.

También desde la perspectiva de los costes externos del transporte —contaminación, congestión, etc.—, el AVE ofrece ventajas sobre los otros modos de transporte. Sin embargo, no debe olvidarse que los nuevos viajes generados, junto a su contribución al crecimiento económico, pueden también originar un incremento del coste social.

En este sentido, cabe recordar que la introducción del tren de alta velocidad produce en la demanda de transporte dos efectos claramente diferenciados: inducción y sustitución, que corresponden respectivamente a los viajes que no se habrían realizado si no existiera este nuevo servicio y a los que se habrían desarrollado en otro modo de transporte. Los resultados obtenidos nos muestran la importancia de este efecto inducción que de acuerdo con los estudios realizados representaría cerca del 45% de los viajes en el tren de alta velocidad en el corredor Madrid-Sevilla (Inglada, 1994). Este resultado está en consonancia al obtenido por Nash (1991) para el caso francés del París-Lyon.

DESVENTAJAS

Junto a este numeroso conjunto de ventajas el AVE presenta varias debilidades: En primer lugar, una importante limitación del AVE es que, al igual que el ferrocarril convencional, su grado de cobertura es limitado. Particularmente, si se le compara con el transporte en automóvil que es un modo casi universal. Asimismo, no tiene la ventaja que ofrece el automóvil de poder realizar el viaje sin cambiar de modo de transporte ni la velocidad del avión que es decisiva para los viajes de largo recorrido.

Pero su principal desventaja es el elevado coste de la construcción y mantenimiento de su infraestructura que es prácticamente el doble del correspondiente a una autopista. En este sentido, al comparar con otros modos, la rentabilidad de la alta ve-

CUADRO 3 MOTIVOS DE ELECCIÓN DEL AVE (%)					
	Avión	Coche	Tren	Bus	Total
Rapidez/Tiempo	13	42	57	67	30
Puntualidad	4	0	2	0	3
Comodidad	31	35	19	13	29
Precio	19	6	2	2	11
Novedad	11	3	9	3	9
Seguridad/Miedo	6	10	0	0	5
Centro ciudad	4	0	0	0	2
Horarios	6	0	8	10	5
Otros	6	4	3	5	6

FUENTE: Coto e Inglada (2003).

locidad ferroviaria es mucho más dependiente de la densidad de tráfico del corredor ya que la oferta de unidades adicionales de servicio ferroviario incorpora un coste adicional mucho más pequeño debido a un intenso efecto de las economías de escala. También el hecho de transportar únicamente viajeros es un factor que merma su rentabilidad. Por ello, prácticamente en todos los casos el AVE requiere un subsidio del gobierno.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Las perspectivas del tren de alta velocidad en Europa son ciertamente optimistas. En el diseño de la política europea de transporte y en los planes de infraestructuras nacionales se le atribuye un papel protagonista. Aunque probablemente los proyectos más rentables ya han sido desarrollados, el aprovechamiento de los efectos red es la clave que justifica la rápida expansión de la red europea de infraestructuras ferroviarias de alta velocidad.

En el Libro Blanco de la Comisión europea (COM, 2001), que define las líneas maestras de la política europea de transporte para esta década, se asigna un papel preferente al tren de alta velocidad en el transporte de viajeros y se propugna la apertura de un proceso de liberalización que mejore la competencia en el transporte ferroviario y que abra el camino hacia un auténtico mercado interior europeo que integre a los nuevos países

miembros. Todo ello bajo el objetivo básico de la cohesión económica y social.

En esta línea, se han aprobado varios paquetes de medidas que han de contribuir a resolver los importantes problemas existentes, especialmente en relación con los diferentes obstáculos técnicos a los intercambios y a la interoperabilidad de los trenes. Asimismo, desde que en 1985 se inicia el diseño de las Redes Transeuropeas de transporte, se considera prioritarios a los proyectos ferroviarios de alta velocidad.

Esta política de preferencia en la inversión de infraestructuras ferroviarias es la elección adoptada en el actual Plan de Infraestructuras de Transporte del Gobierno de España (Plan 2000-2007, con un escenario presupuestario hasta el 2010), donde el volumen de inversiones destinadas a la infraestructura ferroviaria supera al destinado a inversiones en carreteras, marcándose el ambicioso objetivo de construcción de más de 7.000 kilómetros de red ferroviaria de alta velocidad para el año 2010, lo que colocaría a España en el primer lugar mundial en relación con su longitud de red ferroviaria de altas prestaciones.

CONCLUSIONES

El tren de alta velocidad constituye la última innovación en el transporte y representa la rehabilitación del ferrocarril ante

la situación de declive en que está inmerso. Para la consecución de su éxito comercial, los diferentes gobiernos y operadores ferroviarios públicos nacionales han desempeñado un papel decisivo.

Tradicionalmente las innovaciones en el transporte se han basado en la obtención de una mayor velocidad que reduce el tiempo de los usuarios y permite viajar a mayores distancias. Sin embargo, en el caso del tren de alta velocidad, junto a la evidente mejora de la velocidad, existen otras características —comodidad, seguridad, puntualidad, etc.—, que contribuyen a aumentar la utilidad del viaje para los individuos y le permiten competir con otros modos más rápidos. Por el contrario, tecnologías alternativas como es el caso del Maglev, que supone una verda-

dera ruptura tecnológica, aún alcanzando una mayor velocidad no han podido conseguir el éxito comercial.

Las perspectivas del tren de alta velocidad en Europa son ciertamente optimistas ya que se le atribuye un papel protagonista en el diseño de la política europea de transporte y en los planes de infraestructuras nacionales. Así ocurre en el caso español donde la cuantía de las inversiones previstas en los proyectos ferroviarios para la década actual superan incluso a las asignadas a la red de carreteras.

BIBLIOGRAFÍA

- BLEIJENBERG A. (2002): «The driving forces behind transport growth and their implications for Policy». International Seminar managing the fundamental drivers of transport demand. European Conference of Ministers of Transport, Brussels.
- BONNAFOUS A. (1987): «The regional impact of the TGV». *Transportation*, 14, pp. 127-137.
- COM (2001): *Libro Blanco. La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad*, Comisión Europea. Bruselas

COTO P. Y INGLADA V. (2003): «Introduction of an Innovative Product»: The High Speed Train». Capítulo 3 de *Essays in Microeconomics and Industrial Organization*. Editor P. Coto. Springer-Verlag-Heidelberg, Germany.

DE TILIÈRE G. Y HULTEN, S. (2003): «A decade of change in the European Rail market; Influence on Innovation and R&D: Toward a new equilibrium in the railway sector». EPRC Conference, Toulouse.

INGLADA V. (1994): «Análisis empírico del impacto del AVE sobre la demanda de transporte en el corredor Madrid-Sevilla». *Revista de Estudios de Transportes y Comunicaciones*, n.º 62, pp. 35-51.

NASH C.A. (1991): «The case for high speed rail». *Investigaciones Económicas*, vol. 15(2), pp. 337-354.

PLASSARD F. (1992): «El impacto espacial de los trenes de Alta Velocidad en Europa». *Transporte y Medio Ambiente*. MOPT.